

English abstract of DE 41 37 092 C2

The method involves obtaining measurements in digital code from a disc (2) having four circular tracks (S1-S4) on which a physical property (eg transparency) takes alternate values depending on different degrees of rotation.

A 16:1 redn. gear (3) drives a potentiometer (4) whose output is digitised (6) and processed (7) to nullify backlash and nonlinearity errors in determin. of the number of revolutions of the disc. An output amplifier (8) supplies digital readings.

USE/ADVANTAGE - For eg. machine tool spindles. Simplified method reproduces precision without recourse to bulky scanning devices.

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Patentschrift**  
⑩ **DE 41 37 092 C 2**

②1 Aktenzeichen: P 41 37 092.9-42  
②2 Anmeldetag: 12. 11. 91  
④3 Offenlegungstag: 13. 5. 93  
④5 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 24. 5. 95

⑤1 Int. Cl. 6: **G 01 B 7/30**  
H 04 M 1/24

DE 41 37 092 C 2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:  
Walcher Meßtechnik GmbH, 79199 Kirchzarten, DE

⑦4 Vertreter:  
Goy, W., Dipl.-Phys., Pat.-Anw., 79108 Freiburg

⑦2 Erfinder:  
Walcher, Hans, Dr., 7815 Kirchzarten, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE	40 40 331 A1
DE	39 07 442 A1
DE	39 06 917 A1
DE	39 00 464 A1
DE	37 34 938 A1
DE	36 23 449 A1
WO	86 03 580 A1

⑤4 Verfahren zum Messen von Winkeln von mehr als 360°

DE 41 37 092 C 2

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Messen von Winkeln von mehr als 360°.

Winkelcodierer dienen zum Messen von Winkeln, wobei die Information digital in codierter Form ausgegeben wird. In Verbindung mit entsprechenden mechanischen Zwischengliedern, die Drehbewegungen in Längsbewegungen umwandeln, wie beispielsweise Meßspindeln an Werkzeugmaschinen, werden Winkelcodierer auch zur Längenmessung eingesetzt. Die Digitalisierung und Codierung der verschiedenen Winkelpositionen erfolgt üblicherweise bei der Herstellung der Maßverkörperung in Form einer Codescheibe, die auf konzentrischen Spuren Bereiche mit in Abhängigkeit von der Winkelstellung wechselnden physikalischen Eigenschaften trägt. Die Zahl der unterscheidbaren Einzelpositionen hängt dabei von der gewünschten Auflösung ab. Denkt man sich vom Mittelpunkt der Codescheibe ausgehend eine radial verlaufende Ableselinie, dann sind bei N unterschiedlichen Spuren und N Abtastelementen maximal  $2^N$  Positionen pro Umdrehung unterscheidbar. Am gebräuchlichsten zur Maßverkörperung sind Glasscheiben mit transparenten und nichttransparenten Zonen, die photoelektrisch abgetastet werden. Daneben gibt es auch Winkelcodierer auf kapazitiver, induktiver oder auch resistiver Basis.

Da sich nach einer vollen Umdrehung der Codescheibe das Codemuster wiederholt, sind zur eindeutigen Unterscheidung mehrerer Umdrehungen weitere Codescheiben notwendig, die über Untersetzungsgetriebe miteinander gekoppelt sind. Möchte man beispielsweise 16 Umdrehungen messen, dann ist ein Getriebe mit einer Untersetzung von 1 : 16 erforderlich sowie eine zweite Codescheibe mit 16 unterscheidbaren Positionen, die bei jeder vollen Umdrehung um eine Position weiterbewegt wird. Da das Getriebeispiel des Untersetzungsgetriebes nur in einem beschränkten Bereich unwirksam gemacht werden kann, lassen sich nicht beliebig große Untersetzungen zwischen zwei benachbarten Codescheiben realisieren. Möchte man beispielsweise 256 Umdrehungen messen, empfiehlt es sich, insgesamt drei Codescheiben zu verwenden, von denen die erste innerhalb einer Umdrehung mißt, die zweite 1 : 16 bezüglich zur ersten untersetzt ist und sich nach insgesamt 16 Umdrehungen der ersten Codescheibe einmal um 360° dreht und von denen schließlich die dritte Codescheibe wiederum gegenüber der zweiten Codescheibe um 1 : 16 untersetzt ist und erst nach 256 Umdrehungen der Eingangs- welle eine volle Umdrehung macht und auch wiederum 16 Einzelpositionen unterscheidet. In entsprechender Weise können natürlich noch größere Meßbereiche realisiert werden.

Ein wesentliches Merkmal dieser Winkelcodierer ist, daß das immer vorhandene Spiel der verschiedenen Untersetzungsgetriebe völlig unwirksam gemacht werden kann, indem man geeignete Maßnahmen wie beispielsweise eine Doppelabtastung in Form der U- oder V-Abtastung verwendet und somit ein gleichzeitiges Schalten aller relevanten Bits synchron zum Signalwechsel in der ersten Scheibe sicherstellt.

Nachteilig bei diesem bekannten Meßverfahren mit hintereinander angeordneten Winkelcodierern ist die konventionelle Abtastung der Codescheiben. Dies ist nur mit einem großen Kostenaufwand technisch realisierbar. Darüber hinaus nimmt das bekannte System viel Platz ein.

In der DE-OS 39 00 464 ist eine Vorrichtung zur Rotorlage- und Drehzahlermittlung eines Elektromotors offenbart. Zu diesem Zweck ist auf der Motorwelle eine Codescheibe mit drei konzentrischen Spuren fest angeordnet, die nicht in dem sonst üblichen Linearcode, sondern in einem Ternärcode arbeiten, bei dem jedes Signalfeld drei unterschiedliche Zustände (schwarz, grau und weiß) aufweisen kann. Der Codescheibe ist dabei eine optische Abtasteinrichtung für die drei Spuren zugeordnet. Das bekannte Verfahren beschreibt dabei die Auswertung der drei Zustände und die Gewinnung der Ausgangssignale, die in einem Taktsignal für die Drehzahlmessung des Elektromotors und weiteren Informationen über die Rotorstellung zum Zwecke der Steuerung der Kommutierung bestehen. Bei der Rotorstellung wird dabei ein Winkel zwischen 0° und 360° ermittelt. Nicht ermittelt werden kann die Gesamtzahl der bislang erfolgten Umdrehungen des Elektromotors.

In der WO 86/03580 ist die Vergrößerung eines Meßbereiches von ungefähr 90° eines induktiven Winkelgebers mittels eines spielfreien Planetengetriebes auf 360° offenbart.

In der DE-OS 37 34 938 ist eine Sensoreinheit insbesondere zum Betrieb von elektrisch kommutierten Synchronmotoren in Servoregelkreisen offenbart. Um die absolute Winkelposition über mehrere Umdrehungen der Motorwelle in preisgünstiger Weise ermitteln zu können, sind einem an die Motorwelle ankuppelbaren, hochauflösenden Resolver über Untersetzungsgetriebe geringer Genauigkeit ein oder mehrere Resolver geringer Winkelauflösung nachgeschaltet. Das Untersetzungsverhältnis der Untersetzungsgetriebe und die Winkelauflösung der nachgeschalteten Resolver sind dabei so gewählt, daß sich jeweils ein redundantes Bit ergibt, das zur Winkelsynchronisation benutzt wird. Es werden somit mehrere Resolver mit nachgeschaltetem A/D-Umsetzern gekoppelt, wobei die Synchronisation der Verknüpfung der Signale mehrerer über Getriebe gekoppelter Scheiben bei sogenannten Multiturn-Winkelcodierern entspricht. Dies geschieht allerdings unter Ausnutzung gewisser Gesetzmäßigkeiten des sogenannten Gray-Codes. Dabei wird von einem konstanten Toleranzbereich für das Getriebeispiel und grundsätzlich von einer Linearität und einer weitgehenden Fehlerfreiheit der verwendeten Teilsysteme ausgegangen, so daß lediglich das Getriebeispiel als eigentliche Fehlerquelle zu beachten ist.

In der DE-OS 39 07 442 schließlich ist ein Winkelsensor zur Bestimmung der Drehung einer Welle offenbart. Der Grundgedanke besteht in der möglichst fehlerfreien mechanischen Kopplung zwischen zwei analogen Systemen, welche beispielsweise Potentiometer sein können. Es wird dabei beispielsweise ein kontinuierlich linearverlaufender Kurvenverlauf für das Grobmeßsystem angestrebt. Dabei soll im gesamten Drehbereich der Längssäule eine hohe Genauigkeit ermöglicht werden, die eine Erfassung des elektrischen Signals mit mittlerer Auflösung erlaubt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Meßverfahren für Winkel von mehr als 360° derart zu entwickeln, daß auch stark fehlerbehaftete und sogar möglicherweise nichtlineare Meßsysteme verwendet werden können.

Als technische Lösung wird mit der Erfindung ein Verfahren zum Messen von Winkeln von mehr als 360° vorgeschlagen, bei dem Bereiche einer konzentrische Spuren aufweisende Codescheibe mit in Abhängigkeit von der Winkelstellung wechselnden physikalischen Eigenschaften mittels einer Abtasteinrichtung abgetastet werden und das Meßergebnis durch eine Auswerteschaltung digital in codierter Form ausgegeben wird, bei dem mehrere Codescheiben jeweils unter Zwischenanordnung eines Untersetzungsgetriebes zur Ermittlung der Anzahl der Umdrehungen der vorgeschalteten Codescheibe hintereinandergeschaltet sein können, bei dem der Codescheibe — bei der Verwendung von mehreren Codescheiben — der letzten Codescheibe gegebenenfalls unter Zwischenanordnung eines Untersetzungsgetriebes ein Analogwertgeber zur Erzeugung eines Meßwertes in Abhängigkeit von dem zurückgelegten Gesamtwinkelweg der Codescheibe nachgeordnet ist, wobei die Meßwerte zunächst in einem Analog-Digital-Umsetzer digitalisiert und die so erzeugten Digitalwerte der Auswerteschaltung aufgegeben werden, bei dem einer bestimmten Spur der Codescheibe dem letzten Teilabschnitt einer bestimmten physikalischen Eigenschaft vor dem Abschluß einer vollen Umdrehung sowie dem ersten Teilabschnitt der sich daran anschließenden gewechselten physikalischen Eigenschaft bei Beginn einer neuen Umdrehung jeweils dem zugehörigen Soll-Meßwertbereich des Analogwertgebers ein Toleranz-Meßwertbereich zur Definierung der unteren und oberen Toleranzgrenzen zugeordnet wird, wobei sich die Toleranz-Meßwertbereiche dieser beiden aneinandergrenzenden Teilabschnitte überlappen, und bei dem das bei einem Wechsel der physikalischen Eigenschaft der bestimmten Spur von der Abtasteinrichtung erzeugte Signal in der Weise als Signal für die Umdrehungswahl der Codescheibe verwendet wird, daß der aus dem gleichzeitig anliegenden Meßwert des Analogwertgebers mit Werten im Überlappungsbereich der Toleranz-Meßwertbereiche in der Auswerteschaltung die dort abgespeicherte oder errechnete Umdrehungszahl für diesen Überlappungsbereich ermittelt wird.

Auf diese Weise ist ein überaus genaues Verfahren zur digitalen Winkelmessung von Winkeln von mehr als 360° unter gleichzeitiger Codierung der Winkelinformation geschaffen, welches sich technisch sehr einfach realisieren läßt. Die Grundidee besteht dabei darin, einen Winkelcodierer in Form einer Codescheibe als Feinmeßsystem und einen Analogwertgeber, welcher beispielsweise ein Potentiometer sein kann, als Grobmeßsystem zu verwenden, wobei das Grobmeßsystem unter Verwendung des Analogwertgebers die Anzahl der Umdrehungen mißt. Dabei liefert der Analogwertgeber einen Meßwert, der direkt von dem Gesamtwinkelweg abhängt, welchen das Drehelement zurückgelegt hat, wobei unter diesem Gesamtwinkelweg derjenige Winkelweg zu verstehen ist, den das Drehelement von Beginn des Meßvorganges an gemacht hat, so daß in diesem Gesamtwinkelweg die Summe sämtlicher bisheriger Umdrehungen enthalten ist. Da bestimmten Meßwerten bzw. Meßwertbereichen jeweils eine bestimmte Umdrehungszahl zugeordnet ist, läßt sich aus dem aus dem Meßwertgeber erhaltenen Meßwert die Anzahl der gemachten Umdrehungen ermitteln. Das besondere ist die Auswerteschaltung, mit der das Feinmeßsystem und das Grobmeßsystem miteinander verknüpft werden, wie also der dem durch den Winkelcodierer gebildeten Feinmeßsystem überlagerte Analogmeßwert des Grobmeßsystems zur eindeutigen Bestimmung der Anzahl von Umdrehungen ausgewertet wird. Wesentlich dabei ist, daß als Grobmeßsystem ein stark nichtlinearer, fehlerbehafteter Analogwertgeber verwendet werden kann, der ein einziges Signal abgibt. Die einzige Voraussetzung ist, daß die Fehler innerhalb gewisser Grenzen reproduzierbar sind. Man könnte bei starker Exemplarstreuung der Fehlerverläufe den Fehlerverlauf individuell durch eine Art Lernprozeß erfassen und abspeichern. Somit wird erfindungsgemäß eine Auswertemethode beschrieben, die von einem stark fehlerbehafteten und sogar möglicherweise nichtlinearen Grobmeßsystem in Form des Analogwertgebers ausgeht. Dies Grundidee der speziellen erfindungsgemäßen Auswerteschaltung, um die durch das Getriebeispiel des Untersetzungsgetriebes als auch durch die Nichtlinearitäten und Fehler des Analogwertgebers bedingten Meßungenauigkeiten unwirksam zu machen, besteht darin, daß synchron zum Signalwechsel nach erfolgter voller Umdrehung des Drehelements, wenn sich also die physikalische Eigenschaft der ausgebildeten Spur ändert, dies als Information für die Auswerteschaltung genommen wird, daß eine derartige volle Umdrehung stattgefunden hat. Da aber die Auswerteschaltung nicht weiß, die wievielte Umdrehung es war, werden zuvor sich überlappende Toleranz-Meßwertbereiche zu den für die Signalerzeugung verantwortlichen, aneinandergrenzenden Teilabschnitte der ausgewählten Spur mit der Maßgabe definiert, daß der innerhalb eines bestimmten Überlappungsbereiches liegende Meßwert einer bestimmten abgeschlossenen Umdrehung zuordenbar ist. Es versteht sich dabei von selbst, daß diese Toleranz-Meßwertbereiche sowie deren Überlappungen sich von Umdrehung zu Umdrehung verändern, insbesondere erhöhen, so daß diese eindeutige Zuordnung gewährleistet ist. Auf diese Weise ist ein Meßverfahren geschaffen, welches überaus exakt und zuverlässig arbeitet.

Vorzugsweise werden dabei als Analogwertgeber Potentiometer oder kapazitive oder induktive Meßwertgeber wie beispielsweise Drehkondensatoren, Tauchspulsysteme, Differentialtransformatoren verwendet. Bei der Verwendung von Potentiometern kann es sich je nach verwendetem Meßbereich um einen Einfach- oder einen Mehrgangpotentiometer handeln. Das Potentiometer arbeitet dabei vorzugsweise in Spannungsteilerschaltung mit einem hochohmigen Anpaßverstärker, so daß eine Verfälschung des Meßwertes durch den Schleiferabgriff vernachlässigbar ist. Das Ausgangssignal des Potentiometers wird dann dem Analog-Digital-Umsetzer zugeführt, der es in bekannter Weise in einen Digitalwert umwandelt.

Als Auswerteschaltung werden vorzugsweise Mikroprozessoren, Mikrocontroller oder programmierbare Logikschaltungen mit Speichern verwendet. Dies stellen einfache technische Möglichkeiten zur Realisierung des erfindungsgemäßen Verfahrens dar.

Bei der Verwendung eines Mikroprozessors oder Mikrocontrollers wird vorzugsweise außer der eigentlichen Signalauswertung auch die Analog-Digital-Umsetzung durchgeführt. Dadurch läßt sich das erfindungsgemäße Verfahren hinsichtlich des apparativen Aufwandes weiter vereinfachen.

In einer weiteren Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß zur Definierung der unteren und oberen Toleranzgrenzen des Analogwertgebers die Meßwertgeberkurve an definierten Stützstellen ausgemes-

sen wird und die Stützstellen zu einem Polygonzug linear miteinander verbunden werden und daß anschließend der Polygonzug in einen weitgehend linearen Verlauf umgerechnet wird und schließlich die Toleranzgrenzen festgelegt werden. Dadurch kann man das vorhandene Toleranzband für die Fehlersumme besser ausnutzen, indem der Linearitätsfehler des Potentiometers oder eines entsprechenden Analogmeßwertgebers weitgehend eliminiert wird. Dies geschieht bei dieser Weiterbildung dadurch, daß man die Potentiometerkurve an bestimmten Stützstellen ausmißt und diese Stützstellen mit Geradenstücken verbindet. Man nähert damit die nichtlineare Potentiometerkurve durch einen Polygonzug an, der in bekannter Weise dann in den gewünschten linearen Kurvenverlauf umgerechnet werden kann. Anschließend werden die Toleranzgrenzen bzw. Toleranzfelder festgelegt, wie dies zuvor beschrieben worden ist. Der verbleibende Fehler ist dabei abhängig von der Dichte der gewählten Stützstellen. Die Stützwerte können in einfacher Weise dadurch gewonnen werden, daß man ein solches Potentiometer mechanisch mit einem hochauflösenden digitalen Winkelmeßsystem verbindet und an definierten Stellen, beispielsweise jeweils im Abstand von  $180^\circ$ , d. h. zweimal pro Umdrehung, das Teilverhältnis des Potentiometers mißt.

In einer alternativen Ausgestaltung wird vorgeschlagen, daß zur Definierung der unteren und oberen Toleranzgrenzen des Analogwertgebers auf der realen Meßwertgeberkurve Stützstellen definiert werden, welche die Toleranz-Meßwertbereiche definieren. Man definiert somit die Toleranzfelder nicht mehr anhand einer Linearisierung der Potentiometerkurve als idealisierte Kurve, sondern in Abhängigkeit von der realen Potentiometerkurve, um von diesen Stützstellen aus dann die Toleranzfelder zu definieren, wobei die dadurch definierten Toleranzgrenzen als Kurven ausgebildet sind, die die Grenzen für den praktisch nutzbaren Toleranzbereich für die Fehlersumme (insbesondere für das Getriebeispiel) kennzeichnen. Diese Weiterbildung erlaubt eine wesentliche Erweiterung des Toleranzbereiches (insbesondere für das Getriebeispiel) und macht somit entweder bei gleichbleibenden Fehlern eine Steigerung der Auflösung oder umgekehrt bei gleichbleibender Auflösung eine Erhöhung der zulässigen Fehler möglich, ohne die Genauigkeit der Gesamtauswertung zu beeinträchtigen.

In einer weiteren Weiterbildung wird vorgeschlagen, daß als Spur für die Ermittlung der Umdrehungszahl die größte Spur der Codescheibe verwendet wird. Dabei weist diese größte Spur vorzugsweise insgesamt zwei Teilabschnitte auf. Diese Spur löst somit eine Umdrehung der Codescheibe in zwei Schritte auf, von denen der erste von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  und der zweite von  $180^\circ$  bis  $360^\circ$  geht. Die beiden Teilabschnitte sind somit gleich groß und schließen den gleichen Winkel von jeweils  $180^\circ$  ein. Dabei reihen sich die den aufeinanderfolgenden Umdrehungen zugeordneten Toleranz-Meßwertbereiche eines bestimmten Teilabschnittes nahtlos aneinander. Dies bringt den Vorteil mit sich, daß sich die Überlappungsbereiche nahtlos aneinanderschließen und somit jedem beliebigen Meßwert eine eindeutige Umdrehungszahl zuordenbar ist. Voraussetzung hiervon ist jedoch, daß sich die Toleranz-Meßwertbereiche des bestimmten Teilabschnittes bezüglich der aufeinanderfolgenden Umdrehungen nicht überlappen, da ansonsten keine eindeutige Zuordnung zur einer bestimmten Umdrehungszahl gegeben ist.

Schließlich wird in einer Weiterbildung hiervon vorgeschlagen, daß der Schwerpunkt des Toleranz-Meßwertbereiches in der Mitte des zugehörigen Soll-Meßwertbereiches liegt. Der Toleranz-Meßwertbereich deckt somit symmetrisch den zugehörigen Soll-Meßwertbereich ab.

Ein Ausführungsbeispiel einer Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens zum Messen von Winkeln wird nachfolgend anhand der Zeichnungen beschrieben. In diesen zeigt:

Fig. 1 ein Schaltschema der Vorrichtung;

Fig. 2 eine grafische Darstellung zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Meßprinzips,

Fig. 3 eine grafische Darstellung zur Verdeutlichung des erfindungsgemäßen Meßprinzips in einer alternativen Ausführung.

Die in Fig. 1 dargestellte Vorrichtung besteht zunächst aus einem mittels einer Welle 1 drehbaren Winkelcodierer in Form einer sogenannten Codescheibe 2, bei der es sich um eine Glasscheibe handeln kann. Diese Codescheibe 2 weist insgesamt vier zueinander konzentrische Spuren S1 bis S4 auf, die mit gleichmäßigem Winkelabstand abwechselnd transparente und nichttransparente Teilabschnitte T bzw. T' aufweisen. Die innerste Spur S1 ist dabei die größte Spur der Codescheibe 2 mit einem ersten Teilabschnitt T von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  und einem zweiten Teilabschnitt T' von  $180^\circ$  bis  $360^\circ$ , so daß diese Spur S1 eine volle Umdrehung der Codescheibe 2 lediglich in zwei Schritte auflöst. Jeder dieser Spuren S1 bis S4 ist eine (nicht dargestellte) optische Abtasteinrichtung zugeordnet.

Der Codescheibe 2 mit ihrer Welle 1 ist unter Zwischenanordnung eines Untersetzungsgetriebes 3 mit einem Untersetzungsverhältnis von 1 : 16 ein Potentiometer 4 nachgeordnet, welches schematisch angedeutet ist. Dieses Potentiometer 4 kann je nach verwendetem Meßbereich ein Einfach- oder Mehrgangpotentiometer sein. Es arbeitet in Spannungstellerschaltung mit einem hochohmigen Anpaßverstärker 5, so daß eine Verfälschung des Meßwertes durch den Schleiferabgriff vernachlässigbar ist.

Das Ausgangssignal des Potentiometers 4 wird einem Analog-Digital-Umsetzer 6 zugeführt, der das analoge Ausgangssignal in bekannter Weise in einen Digitalwert umwandelt.

Da sowohl das Getriebeispiel des Untersetzungsgetriebes 3 als auch die Nichtlinearitäten und Fehler des Potentiometers 4 die Meßgenauigkeit beeinträchtigen, ist eine spezielle Auswerteschaltung 7 nachgeordnet, um diese Fehler unwirksam zu machen.

An die Auswerteschaltung 7 schließt sich dann ein Ausgangsverstärker 8 für den digitalen Winkelwert an.

Die in ihrem Grundaufbau beschriebene Meßvorrichtung funktioniert in Bezugnahme auf Fig. 2 wie folgt:

Die Codescheibe 2 dreht sich mittels der Welle 1, wobei die Spuren S1 bis S4 mit ihren Teilabschnitten T und T' abgetastet werden. Über den Leitungszweig L werden die entsprechenden Signale dem Ausgangsverstärker 8 zugeführt und man erhält zu der jeweiligen Winkelstellung der Codescheibe 2 den digitalisierten Wert für diesen Winkel.

Da nach einer vollen Umdrehung der Codescheibe 2 sich das Codemuster der Spuren S1 bis S4 wiederholt, muß noch eine zusätzliche Identifizierung dahingehend durchgeführt werden, wieviele Umdrehungen die Code-

scheibe 2 bisher gemacht hat. Zu diesem Zweck ist die Welle 1 der Codescheibe 2 über das Untersetzungsgetriebe 3 mit dem Untersetzungsverhältnis 1 : 16 mit dem Potentiometer 4 mit einem Schleifabgriff verbunden. An diesem Potentiometer 4 soll eine Spannung von 10 V anliegen. Der jeweilige Spannungsabgriff ist mit  $U_a$  bezeichnet. Im Ausführungsbeispiel wird angenommen, daß für einen Drehwinkel von  $360^\circ$  der Codescheibe 2 bzw. ihrer Welle 1 ein Ausgangssignal am Potentiometer 4 von 100 mV auftritt, so daß bei der Versorgungsspannung des Potentiometers 4 mit 10 V insgesamt 100 Umdrehungen auflösbar wären. Im Diagramm in Fig. 2 ist die unter  $45^\circ$  eingezeichnete Linie die Ideallinie für ein fehlerfreies Potentiometer 4. Die dazu benachbart verlaufende, gekrümmte Linie soll ein fehlerbehaftetes Potentiometer 4 darstellen. Die beiden parallelen Linien beidseitig zur  $45^\circ$ -Ideallinie stellen die Grenzen des maximal zulässigen Toleranzbereiches für die Summe aller Fehler (Potentiometer, Getriebeispiel, Abtastfehler etc.) dar.

Da somit jeder Umdrehungszahl der Codescheibe 2 ein bestimmter Spannungswert bzw. Spannungswertbereich des Potentiometers 4 zugeordnet ist, stellt die Kombination aus Codescheibe 2, Untersetzungsgetriebe 3, Potentiometer 4 sowie Analog-Digital-Umsetzer 6 eine Möglichkeit zur Winkelmessung dar. Dies stellt jedoch ein Basissystem dar, bei der aufgrund des Getriebeispiels sowie der Nichtlinearitäten und Fehler des Potentiometers 4 an die Meßgenauigkeit Abstriche gemacht werden müssen.

Eine Weiterbildung dieses Basissystems sieht daher die zusätzliche Auswerteschaltung 7 vor, die die zuvor beschriebenen Fehler unwirksam macht. Hierbei ist ein wesentlicher Gedanke, daß die Auswerteschaltung 7 nicht nur von dem Ausgangssignal des Analog-Digital-Umsetzers 6 abhängig ist, sondern auch von der größten Spur S1 der Codescheibe 2 gesteuert wird. Diese Spur S1 löst eine Umdrehung der Codescheibe 2 lediglich in zwei Schritte auf, von denen der erste von  $0^\circ$  bis  $180^\circ$  (Teilabschnitt T) und der zweite von  $180^\circ$  bis  $360^\circ$  (Teilabschnitt T') geht. Dies ist in Fig. 2 durch die verschiedenen Schraffuren angedeutet. Zur Verdeutlichung der erfindungsgemäßen Auswerteschaltung wird für Erklärungszwecke das Ausgangssignal des Potentiometers 4 vor der Digitalisierung, d. h. im Analogbereich betrachtet, während aber erfindungsgemäß das Ausgangssignal nach dessen Digitalisierung ausgewertet wird.

Möchte man im Analogbereich die Zahl der Umdrehungen der Codescheibe 2 bestimmen ohne Rücksicht auf die dazugehörige Position der Codescheibe 2, dann würde es genügen, wenn man jeweils in der Mitte des Teilabschnittes T einen Analogwert definieren würde, beispielsweise 25 mV, 125 mV, 225 mV etc., der den Umdrehungen 0, 1, 2, 3 etc. zugeordnet wäre.

Nach dieser Grundüberlegung kann man jetzt den nächsten Schritt tun und sagen, daß man lediglich zwei aufeinanderfolgende Umdrehungen voneinander unterscheiden möchte. Dann würde sich an Stelle dieser diskreten Spannungswerte jeweils ein Spannungsbereich ergeben, der der nullten Umdrehung, der ersten Umdrehung, der zweiten Umdrehung, der dritten Umdrehung etc. zugeordnet wäre. Dieser Spannungsbereich könnte so groß sein, daß er über den jeweiligen Teilabschnitt T bzw. T' beidseits hinausgeht und noch die Hälfte des angrenzenden Teilabschnittes T' bzw. T umfaßt. Man bekommt dann Toleranzbereiche, dessen Grenzen durch die entsprechenden Kurvenzüge zu den Teilabschnitten T und T' gekennzeichnet sind.

Betrachtet man nun das Toleranzfeld für den Teilabschnitt T nach der 1. Umdrehung, dann erhält man das (obere) schraffiert eingezeichnete Feld, das den Winkelbereich  $270^\circ$  bis  $630^\circ$  und den Spannungsbereich 75 mV bis 175 mV umfaßt. Entsprechendes läßt sich für die Teilabschnitte T' der Codescheibe 2 überlegen. Die Schwerpunkte der zugeordneten Spannungen liegen bei 75 mV, 175 mV, 275 mV etc. Betrachtet man das Toleranzfeld für die nullte Umdrehung, welches (unten) schraffiert angedeutet ist, umfaßt es einen Winkelbereich von  $90^\circ$  bis  $450^\circ$  und einen Spannungsbereich von 25 mV bis 125 mV. Man kann nun jeder dieser Flächen (bedingt durch die Wahl der Maßstäbe sind es im Beispiel Quadrate) eine bestimmte Wertigkeit zuordnen. Das erste, schraffierte Toleranzfeld des Teilabschnittes T' hat die Wertigkeit 0 und gehört zur nullten Umdrehung, das anschließende schraffierte Toleranzfeld des Teilabschnitts T würde die Wertigkeit 1 haben und zur ersten Umdrehung gehören, das nach rechts folgende Toleranzfeld des Teilabschnitts T' ebenfalls zur ersten Umdrehung gehören und wieder die Wertigkeit 1 haben, das dann folgende Toleranzfeld des Teilabschnitts T zur zweiten Umdrehung gehören und die Wertigkeit 2 haben etc. Die Schnittmengen aus benachbarten Toleranzfeldern der Teilabschnitte T und T' können nun entweder zu zwei unterschiedlichen Umdrehungen gehören (wie dies im Schaubild in Fig. 2 bei den beiden schraffierten Toleranzfeldern der Fall ist) oder aber auch zur selben Umdrehung. Der entscheidende Gedanke der Erfindung besteht nun darin, daß in Abhängigkeit von der Umschaltung vom Teilabschnitt T' auf den Teilabschnitt T am Ende einer vollzogenen Umdrehung der Codescheibe 2 synchron eine Umschaltung der Wertigkeit der zugehörigen Spannungswerte erfolgt.

Bewegt sich in dem Ausführungsbeispiel die Codescheibe 2 von der Nullposition in Richtung auf das erste Toleranzfeld zum Teilabschnitt T' zu, dann bedeuten alle Spannungswerte zwischen 25 mV und 125 mV, daß sich die Codescheibe 2 noch innerhalb der ersten Umdrehung befindet. Schaltet nun nach einer vollen Umdrehung die Codescheibe 2 auf das erste Toleranzfeld zum Teilabschnitt T um, dann gilt plötzlich, daß bereits eine Spannung zwischen 75 mV und 175 mV den Vollzug einer vollen Umdrehung bedeutet. Hat die gekrümmte Kurve zu diesem Zeitpunkt beispielsweise einen Wert von 120 mV, dann bedeutet dies, solange noch das erste Toleranzfeld zum Teilabschnitt T' wirksam ist, Umdrehung 0 und sobald das zweite Toleranzfeld zum Teilabschnitt T wirksam wird, die Umdrehung 1. Somit wechselt absolut synchron mit dem Wechsel der größten Spur S1 der Codescheibe 2 auch die Wertigkeit des Ausgangssignals der Auswerteschaltung 7.

Das Grundprinzip und der Grundgedanke der Erfindung soll nochmals mit Hilfe folgender Tabelle erläutert werden, wobei die Toleranzfelder für die beiden Wertigkeiten der größten Spur S1 der Codescheibe 2 angegeben sind und wobei angenommen ist, daß einer Umdrehung der Codescheibe 2 eine Spannungsänderung am Potentiometerabgriff von 100 mV entspricht:

	Abgeschlossene Umdrehungen	Wertigkeit der größte Spur S1 der Codescheibe 2	Max. zulässiger Spannungsbereich [In mV]
5			
10	0	0 (T) 1 (T')	0...75 25...125
15	1	0 (T) 1 (T')	75...175 125...225
20	2	0 (T) 1 (T')	175...275 225...325
25			
30	3	0 (T) 1 (T')	275...375 325...425
35	.	.	.
	.	.	.
	.	.	.

Die Codescheibe 2 weist in ihrer größten Spur S1 zwei Teilabschnitte T und T' auf. Im Idealfall käme dem Teilabschnitt T bei 0 abgeschlossenen Umdrehungen ein Spannungsbereich von 0 bis 50 mV, dem Teilabschnitt T' bei 0 abgeschlossenen Umdrehungen ein Spannungsbereich von 50 mV bis 100 mV, anschließend wieder dem Teilabschnitt T bei 1 Umdrehung ein Spannungsbereich von 100 mV bis 150 mV, dem sich daran anschließenden Teilabschnitt T' bei 1 abgeschlossenen Umdrehung ein Spannungsbereich von 150 mV bis 200 mV, dem Teilabschnitt T bei 2 abgeschlossenen Umdrehungen ein Spannungsbereich von 200 mV bis 250 mV etc. zu. Man definiert aber entsprechend der Anzahl der abgeschlossenen Umdrehungen sowie entsprechend der Teilabschnitte T oder T' maximal zulässige Spannungsbereiche (Toleranzfelder), die jeweils 25 mV beidseitig weiter reichen als die Ideal-Spannungsbereiche bei fehlerfreiem Potentiometer 4 sowie bei nicht vorhandenem Getriebe-  
 beispiel. Die diesbezüglichen maximal zulässigen Spannungsbereiche sind in der Tabelle ganz rechts aufgeführt. Entsprechend sind sie in der Vertikalachse des Schaubildes in Fig. 2 dargestellt.

Die Auswerteschaltung 7 weiß, daß beim Übergang vom Teilabschnitt T' in den Teilabschnitt T eine volle, abgeschlossene Umdrehung stattgefunden hat und es wird mittels der Abtasteinrichtung ein entsprechendes Signal erzeugt. Synchron hierzu liegt der entsprechende Spannungswert am Potentiometer 4 an. Da sich die maximal zulässigen Spannungsbereiche einander benachbarter Teilabschnitte T, T' überlappen, gehört auf jeden Fall der gemessene und in digitaler Form vorliegende Spannungswert gleichzeitig zwei benachbarten Toleranzfeldern der Teilabschnitte T, T' an. Im Diagramm in Fig. 2 seien dies nach der ersten abgeschlossenen Umdrehung beispielsweise 120 mV. Dieser Spannungswert von 120 mV liegt dabei im Überlappungsbereich zwischen dem Toleranzbereich zum (letzten) Teilabschnitt T' der nullten Umdrehung und dem Toleranzbereich zum (ersten) Teilabschnitt T der 1. abgeschlossenen Umdrehung, so daß die Auswerteschaltung 7 weiß, wann eine Umdrehung abgeschlossen worden ist, im Beispiel die 1. Umdrehung. Bei einem Wechsel vom Teilabschnitt T' zum Teilabschnitt T der nachfolgenden neuen Umdrehung sucht sich somit die Auswerteschaltung 7 aus den abgespeicherten oder errechneten Spannungsbereichen die entsprechende Umdrehungszahl heraus. Umgekehrt wird bei einem Wechsel vom Teilabschnitt T zum Teilabschnitt T' mit dem entsprechenden Signal an die Auswerteschaltung 7 von dieser keine abgeschlossene Umdrehung identifiziert, da erst die Hälfte der Umdrehung vollzogen ist.

Anhand Fig. 3 soll nunmehr noch in einer alternativen Ausführungsform eine Möglichkeit beschrieben werden, mittels der das vorhandene Toleranzband für die Fehlersumme besser ausgenutzt werden kann, indem der



Linearitätsfehler des Potentiometers 4 weitgehend eliminiert wird. Die Toleranzfelder werden dabei in Abhängigkeit von der realen Potentiometerkurve definiert, wie sie in Fig. 3 als vom Nullpunkt ausgehende, gekrümmte Kurve angedeutet ist. Das Schema, welches sich für die Lage der Toleranzfelder darauf aufbaut mit der nichtlinearen Potentiometerkurve und den ebenfalls nichtlinearen oberen und unteren Toleranzkurven für die Toleranzgrenzen, welche die Grenzen für den praktisch nutzbaren Toleranzbereich für die Fehlersumme (insbesondere für das Getriebeispiel) kennzeichnen, soll nachfolgend anhand dieser Fig. 3 beschrieben werden:

Zunächst werden Stützstellen ST1 bis ST7 auf der realen Kurve des Potentiometers 4 bestimmt. In der Realität schließen sich dabei an die letzte Stützstelle ST7 noch weitere Stützstellen entsprechend der Anzahl der Umdrehungen an. Im vorliegenden Beispiel wurden die Stützstellen ST1 bis ST7 beginnend bei 90° jeweils im Abstand von 180° gemessen. Damit liegen die Stützstellen ST1 bis ST7 jeweils in der Mitte des Teilabschnittes T, T' der größten Spur S1 der Codescheibe 2. Die Bestimmung der zulässigen Toleranzfelder um jede Stützstelle ST1 bis ST7 herum erfolgt wiederum in der Weise, daß zunächst einmal die beiden unterschiedlich schraffierten Bereiche in der bereits beschriebenen Weise definiert werden, indem die Grenzen für den Winkel  $\alpha$  jeweils in der Mitte des benachbarten Toleranzfeldes liegen und die Ordinatenwerte durch den jeweils dort gemessenen Stützwert definiert sind. So sind die Grenzen für das Toleranzfeld des Teilabschnittes T' der 0. Umdrehung einmal durch die Winkelwerte 90° und 450° und zum anderen durch die Ordinatenwerte ST1 und ST3 gegeben. Das nach der erfolgten 1. Umdrehung folgende Toleranzfeld zum Teilabschnitt T ist begrenzt durch die Winkelwerte 270° bis 630° sowie durch die Ordinatenwerte ST2 und ST4 als Unter- und Obergrenze. Die Bestimmung der Toleranzfelder wird zu höheren Winkelwerten hin entsprechend fortgesetzt.

Die beidseits der Potentiometerkurve eingezeichneten Toleranzgrenzen stellen den Bereich dar, in dem der maximale Fehler in der Praxis liegen darf. Die Toleranzgrenzkurven bestehen dabei aus einzelnen Geradenstücken. Die Berechnung der Endpunkte für diese einzelnen Geradenstücke, die die Toleranzfehler begrenzen, wird so vorgenommen, daß Parallelen zur Winkelachse in den Stützstellen ST1, ST2, etc. mit Parallelen zur Spannungsachse in den Winkelwerten 180°, 360°, 540°, etc. zum Schnitt gebracht werden. Diese Winkelwerte entsprechen jeweils einem Wechsel der Wertigkeit in der größten Spur S1 der Codescheibe 2. Die entsprechenden Schnittpunkte sowohl oberhalb als auch unterhalb der Potentiometerkurve werden zu dem eingezeichneten Kurvenzug verbunden. Theoretisch wäre ein noch größerer Toleranzbereich möglich, der aber in der Praxis kaum nutzbar ist.

Dieses Prinzip gestattet eine wesentliche Erweiterung des Toleranzbereiches (insbesondere für das Getriebeispiel) und macht somit entweder bei gleichbleibenden Fehlern eine Steigerung der Auflösung oder umgekehrt bei gleichbleibender Auflösung eine Erhöhung der zulässigen Fehler möglich, ohne die Genauigkeit der Gesamtauswertung zu beeinträchtigen.

Das erfindungsgemäße Meßverfahren ist nicht auf Potentiometer 4 als Analogwertgeber beschränkt, sondern es können auch beispielsweise kapazitive oder induktive Meßwertgeber verwendet werden, beispielsweise Drehkondensatoren, Tauchspulsysteme, Differentialtransformatoren etc.

Als Auswerteschaltung 7 kommen nicht nur Mikroprozessoren oder Mikrocontroller in Frage, sondern auch programmierbare Logikschaltungen in Verbindung mit Speichern und andere Verknüpfungseinrichtungen. Bei der Verwendung eines Mikrocontrollers oder Mikroprozessors kann dort neben der eigentlichen Signalauswertung auch die Analog-Digital-Umsetzung erfolgen.

Darüber hinaus ist das erfindungsgemäße Meßverfahren nicht auf Winkelcodierer beschränkt, bei denen nur eine einzige Codescheibe 2 vorhanden ist, sondern es kann auch bei mehrstufigen optoelektronischen (oder kapazitiven oder resistiven) Winkelcodierern als Ersatz für eine oder zwei der letzten Stufen eingesetzt werden.

Gegenüber den herkömmlichen Winkelcodierern mit beispielsweise photoelektrischer Abtastung erlaubt das erfindungsgemäße Meßverfahren eine erhebliche Kostenreduktion und auch Volumenreduktion, da auf aufwendige Abtasteinrichtungen verzichtet werden kann.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Welle
- 2 Codescheibe
- 3 Untersetzungsgetriebe
- 4 Potentiometer
- 5 Anpaßverstärker
- 6 Analog-Digital-Umsetzer
- 7 Auswerteschaltung
- 8 Ausgangsverstärker
- L Leitungszweig
- S1 Spur
- S2 Spur
- S3 Spur
- S4 Spur
- ST1 Stützstelle
- ST2 Stützstelle
- ST3 Stützstelle
- ST4 Stützstelle
- ST5 Stützstelle
- ST6 Stützstelle
- ST7 Stützstelle

T Teilabschnitt  
T' Teilabschnitt.

# Patentansprüche

1. Verfahren zum Messen von Winkeln von mehr als 360°,  
bei dem Bereiche einer konzentrische Spuren (S1 bis S4) aufweisende Codescheibe (2) mit in Abhängigkeit  
von der Winkelstellung wechselnden physikalischen Eigenschaften mittels einer Abtasteinrichtung abgetastet  
werden und das Meßergebnis durch eine Auswerteschaltung (7) digital in codierter Form ausgegeben  
wird,
- bei dem mehrere Codescheiben (2) jeweils unter Zwischenanordnung eines Untersetzungsgetriebes (3) zur  
Ermittlung der Anzahl der Umdrehungen der vorgeschalteten Codescheibe (2) hintereinandergeschaltet  
sein können,
- bei dem der Codescheibe (2) oder — bei der Verwendung von mehreren Codescheiben (2) — der letzten  
Codescheibe (2) gegebenenfalls unter Zwischenanordnung eines Untersetzungsgetriebes (3) ein Analog-  
wertgeber zur Erzeugung eines Meßwertes in Abhängigkeit von dem zurückgelegten Gesamtwinkelweg  
der Codescheibe (2) nachgeordnet ist, wobei die Meßwerte zunächst in einem Analog-Digital-Umsetzer (6)  
digitalisiert und die so erzeugten Digitalwerte der Auswerteschaltung (7) aufgegeben werden,
- bei dem einer bestimmten Spur (S1) der Codescheibe (2) dem letzten Teilabschnitt (T') einer bestimmten  
physikalischen Eigenschaft vor dem Abschluß einer vollen Umdrehung sowie dem ersten Teilabschnitt (T)  
der sich daran anschließenden gewechselten physikalischen Eigenschaft bei Beginn einer neuen Umdrehung  
jeweils dem zugehörigen Soll-Meßwertbereich des Analogwertgebers ein Toleranz-Meßwertbereich zur  
Definierung der unteren und oberen Toleranzgrenzen zugeordnet wird, wobei sich die Toleranz-Meßwert-  
bereiche dieser beiden aneinandergrenzenden Teilabschnitte (T', T) überlappen, und
- bei dem das bei einem Wechsel der physikalischen Eigenschaft der bestimmten Spur (S1) von der Abtastein-  
richtung erzeugte Signal in der Weise als Signal für die Umdrehungswahl der Codescheibe (2) verwendet  
wird, daß aus dem gleichzeitig anliegenden Meßwert des Analogwertgebers mit Werten im Überlappungs-  
bereich der Toleranz-Meßwertbereiche in der Auswerteschaltung (7) die dort abgespeicherte oder errech-  
nete Umdrehungszahl für diesen Überlappungsbereich ermittelt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Analogwertgeber Potentiometer (4) oder  
kapazitive oder induktive Meßwertgeber wie beispielsweise Drehkondensatoren, Tauchspulsysteme, Diffe-  
rentialtransformatoren verwendet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß als Auswerteschaltung (7) Mikroprozes-  
soren, Mikrocontroller oder programmierbare Logikschaltungen mit Speichern verwendet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verwendung eines Mikroprozessors  
oder Mikrocontrollers außer der eigentlichen Signalauswertung auch die Analog-Digital-Umsetzung  
durchgeführt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Definierung der unteren  
und oberen Toleranzgrenzen des Analogwertgebers die Meßwertgeberkurve an definierten Stützstellen  
ausgemessen wird und die Stützstellen zu einem Polygonzug linear miteinander verbunden werden und daß  
anschließend der Polygonzug in einen weitgehend linearen Verlauf umgerechnet wird und schließlich die  
Toleranzgrenzen festgelegt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß zur Definierung der unteren  
und oberen Toleranzgrenzen des Analogwertgebers auf der realen Meßwertgeberkurve Stützstellen (ST1  
bis ST7) definiert werden, welche die Toleranz-Meßwertbereiche definieren.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß als Spur (S1) für die Ermittlung  
der Umdrehungszahl die größte Spur (S1) der Codescheibe (2) verwendet wird.
8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß die größte Spur (S1) insgesamt zwei Teilab-  
schnitte (T, T') aufweist.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß sich die den aufeinanderfolgenden Umdrehun-  
gen zugeordneten Toleranz-Meßwertbereiche eines bestimmten Teilabschnittes (T bzw. T') nahtlos anein-  
anderreihen.
10. Verfahren nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Schwerpunkt des Toleranz-Meß-  
wertbereiches in der Mitte des zugehörigen Soll-Meßwertbereiches liegt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -



Fig. 2

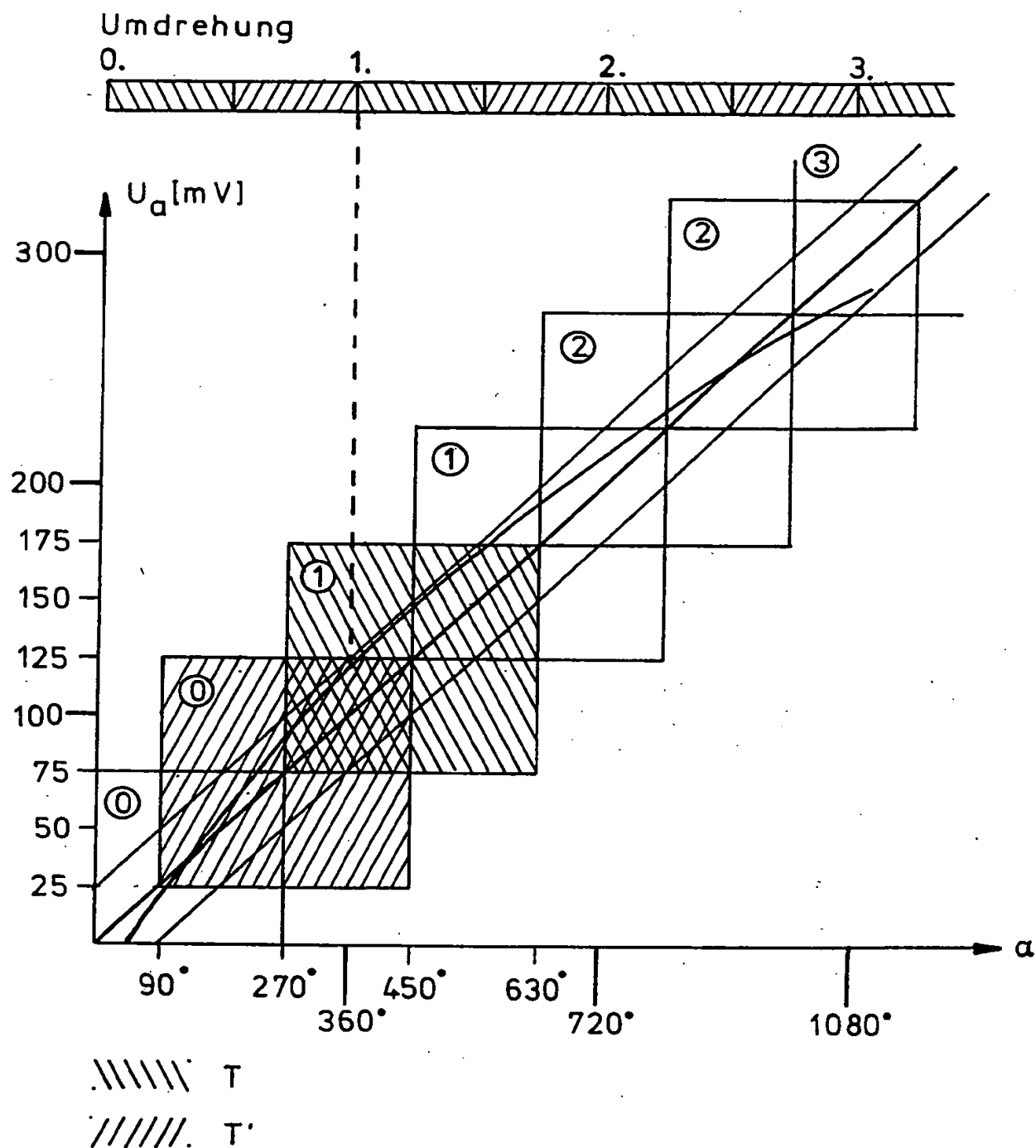


Fig. 3

